

---

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: Elektronické, informační a řídicí systémy

Posouzení ekonomické efektivnosti využití solární energie

Assessment of Economic Efficiency of Solar Energy  
Utilization

**Bakalářská práce**

Autor:	<b>Jan Krofta</b>
Vedoucí práce:	Ing. Hana Čermáková CSc.
Konzultant práce:	Ing. Julie Volfová

V Liberci 11. 5. 2011

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií  
Ústav řízení systémů a spolehlivosti  
**Zadání projektu / bakalářské / diplomové práce**

<b>Příjmení a jméno studenta, (osobní číslo - nepovinné)</b>	<b>Jan Krofta</b>
<b>Datum zadání práce</b>	30.9. 2010
<b>Plánované datum odevzdání</b>	20.5. 2011
<b>Rozsah grafických prací</b>	Dle potřeby dokumentace
<b>Rozsah průvodní zprávy</b>	cca 20/40 stran
<b>Název práce (česky)</b>	<b>Posouzení ekonomické efektivity využití solární energie</b>
<b>Název práce (anglicky)</b>	Assessment of Economic Efficiency of Solar Energy Utilization
<b>Zásady pro vypracování BP</b> (text nijak neformátujte, pouze očísľujte jednotlivé body a každý bod uveďte jako nový odstavce):	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analýza technologie, parametry technologické efektivity zvoleného zařízení</li> <li>2. Sestavení algoritmů odhadu nákladů z podpůrných údajů (zadaný a standardní výkon zařízení ev. další vstupní charakteristiky)</li> <li>3. Sestavení projektu nákladů v dílčích položkách i v souhrnu. Obecná analýza citlivosti projektu na vstupní data</li> <li>4. Návrh vhodného uživatelského rozhraní pro sestavený analytický model.</li> <li>5. Posouzení ekonomické efektivity využití solární energie podle vybraného kritéria.</li> </ol>	
<b>Seznam odborné literatury</b> (text nijak neformátujte, pouze každou položku uveďte jako nový odstavce):	
<p>[1] Relevantní odborné publikace (MPO ČR, CZEPHO, Czech RE Agency apd.)</p> <p>[2] Řehák, J. a kol.: Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování, (on-line) ČEA, 1998. Přístup z Internetu z <a href="http://URL:www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/publikace/848">URL:www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/publikace/848</a></p> <p>[3] Miroslav Synek a kol.: Manažerská ekonomika, Grada Publishing a.s., 2003, ISBN 80 – 247 0515-X</p> <p>[4] ŠAUER, P.: Základy ekonomiky životního prostředí, skripta VŠE, Praha 1998</p>	
<b>Vedoucí BP</b>	Ing. Hana Čermáková CSc.
<b>Konzultant BP</b> (u externích pracovníků uveďte plný název pracoviště – firmy)	Ing. Julie Volfová

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Haně Čermákové CSc, za čas, který věnovala mé práci, odborné konzultaci, cenným připomínkám a radám.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá fotovoltaikou. Stručně seznamuje s technologií, spolehlivostí a problematikou fotovoltaických panelů a možností instalace fotovoltaické elektrárny. Fotovoltaická elektrárna je brána jako zdroj investice, který závisí jak na ekonomických vstupech, tak i na jejím umístění. Zpracovaná analýza by měla napomoci potenciálním investorům v rozhodování, zda podobnou investici realizovat či nikoliv. Dále je uvedena související legislativa, která stanoví podmínky výstavby sluneční elektrárny a výše výkupních cen pro daný rok. Předpoklad, že bez dotovaných výkupních cen nelze investici do solární elektrárny považovat za výhodnou, se potvrdila. Bez dotovaných výkupních cen není možné vybudovat rentabilní solární elektrárnu. Pokud je výkupní cena dotována, je situace opačná. Jedná se pak o velmi výnosnou investici s minimálním stupněm rizikem, tím pádem se fotovoltaická elektrárna stala jednou z nejvýnosnějších investic v ČR. V praktické části byl vytvořen nástroj, program Solárník, k analýze zamýšlené investice.

Klíčová slova: energie ze slunce, výkon fotovoltaické elektrárny, investice do fotovoltaiky, výkupní ceny, zelený bonus, analýza citlivosti, náklady na pořízení fotovoltaické elektrárny.

## **Abstract**

The topic of this thesis is the photovoltaic. The theoretical part of the work gives a basic introduction on the technology, its solidity and calculability. It also gives information on the problem of photovoltaic panels and the possibilities of the investments to the photovoltaic power stations. A photovoltaic power station is considered as a source of a financial investment which is dependent on both the economical inputs and the location. The analysis which has been done as a part of this thesis should be of a help to the potential monetary investors. The explanation might help the potential investors to decide on the base of the relevant facts whether their investment might be profitable or not. Furthermore, the thesis states facts on the topical legal background which is important mainly for stating the conditions of the fabrication and the buyout prices for the particular year. The anticipation that the investment to the photovoltaic power energy cannot be rentable without a subsidy buyout prices came true. The nonexistence of the subvene buyout price cannot lead to a raising of a rentable power station. In case of a subvene buyout prices the situation is completely different. In such case a raising of a photovoltaic power station is a payable and lucrative investment with a minimum level of risk and thus the photovoltaic power energy creates one of the most profitable investment options in the Czech Republic. In the practical part of the thesis, there was created a program called Solárník which is a practical tool for analysis of the intended investment.

**Keywords:** sun energy, output of the photovoltaic power station, investment in the photovoltaic energy, redemption value, redemption price, green bonus, analysis of the sensitivity, cost of acquisition of the photovoltaic power station.

# Obsah

Abstrakt .....	5
Abstract .....	6
Poděkování .....	4
Prohlášení .....	3
<b>1 Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Analýza technologie</b> .....	<b>10</b>
2.1 Energie ze slunce .....	10
2.2 Historie .....	11
2.3 Proč solární energii .....	12
2.4 Fotovoltaický článek .....	13
2.5 Materiály pro výrobu fotovoltaických článků .....	13
2.6 Přeměna energie ze slunce .....	15
2.7 Spolehlivost a životnost solárních panelů .....	16
2.8 Zvýšení výkonu solárních článků .....	18
2.9 Instalace fotovoltaických systémů .....	19
2.9.1 Distribuce do sítě .....	19
2.9.2 Ostrovní systémy .....	19
<b>3 Ekonomické podmínky využití solární energie v ČR</b> .....	<b>20</b>
3.1 Cena pořízení fotovoltaického systému .....	21
3.2. Pořizovací náklady .....	21
3.3 Náklady na výrobu elektřiny .....	22
<b>4 Ekonomický model a analýza citlivosti</b> .....	<b>23</b>
4.1 Nákladový model .....	23
4.2 Analýza citlivosti .....	26
4.2.1 Vliv počasí .....	27
4.2.2 Vliv umístění FV elektrárny .....	28
4.2.3 Ekonomické vlivy .....	32
4.3. Souhrn výsledků analýzy citlivosti .....	34
<b>5 Návrh vhodného uživatelského rozhraní pro sestavený analytický model</b> .....	<b>35</b>
5.1 Program Solárník .....	36
5.2 Přehled ukazatelů výkonu .....	38
5.3 Přehled ekonomických ukazatelů efektivity .....	38
<b>6 Aspekty efektivity využití solární energie</b> .....	<b>39</b>
<b>7 Souhrnné vyhodnocení</b> .....	<b>41</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 3: Spektrální citlivost solárních článků (Zdroj:solartec.cz) .....	15
Obrázek 4: Voltampérová charakteristika FV článku .....	16
Obrázek 5: Výroba el. energie v závislosti na úhlu odklonu od jihu .....	29
Obrázek 6: Závislost odklonu od jihu .....	30
Obrázek 7: Výroba el. energie v závislosti na úhlu odklonu od vodorovné střechy .....	31
Obrázek 8: Závislost sklonu natočení na výkonu .....	32
Obrázek 9: Solárník - vstupní data .....	36
Obrázek 10: Solárník - výkonnost FVE .....	37
Obrázek 11: Solárník - Ekonomické nástroje .....	37

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Efektivita a výhody materiálů .....	14
Tabulka 2: Procento podílu nákladů na instalaci v % .....	22
Tabulka 3: Ekonomické zhodnocení investičního záměru .....	22
Tabulka 4: Výrobní náklady[9] .....	23
Tabulka 5: Ceny FV panelů .....	24
Tabulka 6: Cena střídačů .....	25
Tabulka 7: Fotovoltaické elektrárny na klíč .....	25
Tabulka 8: Výroba a roční výnos elektřiny v závislosti na umístění .....	28
Tabulka 9: Závislost úhlu odklonu od jihu panelů na celkovém výnosu .....	29
Tabulka 10: Závislost úhlu sklonu panelů na celkovém výnosu .....	31
Tabulka 11: Výkupní ceny a zelený bonus [8] .....	33
Tabulka 12: Změna parametru FVE a jeho citlivost na CF .....	34

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
c	Rychlost světla
ERÚ	Energetický regulační úřad
EEF	Účinnost solárního článku. U fotovoltaických článků vyrobených z monokrystalického křemíku bývá kolem patnácti procent.
FF	Fill Factor.
FV	Fotovoltaika, fotovoltaický
FVČ	Fotovoltaický článek
FVE	Fotovoltaická elektrárna
h	Planckova konstanta
IPP	Index průmyslových výrobců
SFŽP	Státní fond životního prostředí)
SHS	Solar Home System



# 1 Úvod

V roce 2010 se fotovoltaika stala jedním z nejvíce skloňovaných slov v České republice, především kvůli výhodným výkupním cenám. Díky velké podpoře státu se stala naše malá republika jednou ze světových velmocí v tomto směru. Instalovaným výkonem jsme překonali dokonce i USA. Čechy předstihli jen těsně Španělé, výrazně Italové, a především Němci. Růst fotovoltaiky byl úchvatný. Propad nákladů, velký zájem investorů a pokračující politická podpora přispěly k tomu, že se fotovoltaika stala zelenou technologií číslo jedna v celé Evropě. Ovšem v roce 2011 se růst zastavil, protože politici seškrtili podporu investorům do výstavby nových elektráren.

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit fotovoltaiku jak po technologické stránce, tak po ekonomické stránce a vytvořit vhodný nástroj pro posouzení ekonomické efektivnosti zadaného typu fotovoltaické elektrárny. V prvních kapitolách je krátce popsána technologie, její historie a způsob instalace fotovoltaických systémů. Následující kapitoly jsou ekonomického charakteru, zabývají se cenou fotovoltaického systému, analýzou citlivosti a parametry ovlivňujícími příjmy solární elektrárny.

## 2 Analýza technologie

### 2.1 Energie ze slunce

Současná výroba elektřiny v ČR činí zhruba 60 TWh. Konečná spotřeba bez ztrát činí pouze 50 TWh. Z toho domácnosti spotřebují přibližně 17 TWh. Očekává se, že dnešní konečná spotřeba cca 5 MWh na jednoho obyvatele za rok vzroste postupně na 6,5 až 7 MWh, za předpokladu růstu naší ekonomiky na úroveň západoevropských zemí. Ve výhledu do roku 2015 se předpokládá, že výroba elektřiny z uhlí, ropy a zemního plynu pokryje zhruba 50% potřeby. Podíl výroby z biomasy, vodní energie a zejména jaderných zdrojů dosáhne 30-40%. Zbývající pokrytí spotřeby připadá na podporu využití alternativních zdrojů výroby elektrické energie s minimálním dopadem na životní prostředí, nebo je nutné zbývající potřebu energie řešit dovozem.

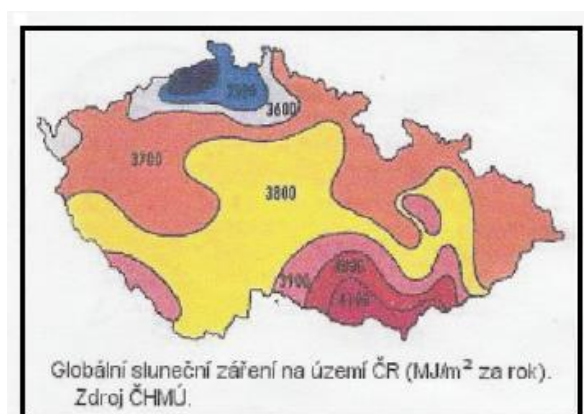
Zásoby tradičních energetických zdrojů uhlí, ropy, zemního plynu a uranu jsou omezené, spotřebováváme je bez možnosti náhrady. Vize pro druhou polovinu 21. století a staletí následující jsou proto vážně založeny na využití obnovitelných zdrojů energie a na energii řízené termonukleární syntézy.

Termonukleární syntézu zatím nedokážeme prakticky využít, i když na zvládnutí tohoto technicky náročného úkolu se již dlouhodobě pracuje. Technika výroby energií z obnovitelných zdrojů je vyvinuta a dotažena až ke komerčně použitelným výrobkům. Osud dalšího vývoje je závislý především na snížení jednotkové ceny vyrobené energie, která je zatím obecně hlavní překážkou rychlejšího rozšiřování a vyžívání těchto zdrojů. Na povrch České republiky dopadne přibližně 80000 TWh energie slunečního záření. Na 1m<sup>2</sup> je to podle místních geografických podmínek v průměru přibližně 0,9-1,1MWh ročně. Zdroj slunečního záření lze účelně přímo, nebo nepřímo přeměnit v jiné potřebné formy energie, a to v energii chemickou (palivový článek vodíko-kyslíkový), energii mechanickou (sluneční tepelné a elektrárny ohniskové), energii tepelnou (nepřímá změna tepla v termoelektrických generátorech) a energii elektrickou (fotovoltaické elektrárny).

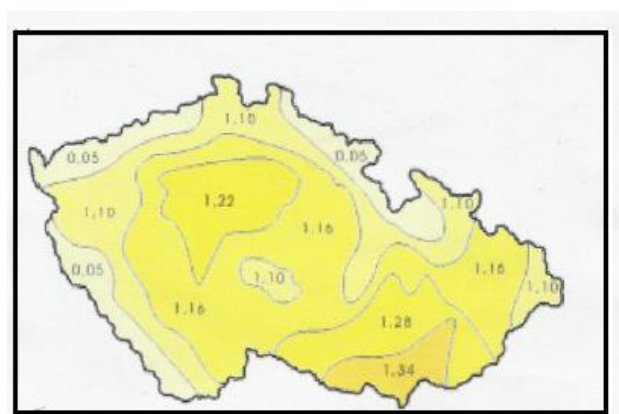
Fotovoltaická energie je považována za nadějnou formou energie, protože energie světla lze převést přímo do elektrické energie, bez použití jakýchkoli pohyblivých mechanických částí a bez využívání paliva. Fotovoltaika se dnes dostala na úroveň cenové dostupnosti, a tak ji lze plně využívat.

Využití energie slunce je reálné i v našich podmínkách. Celková doba slunečního svitu se pohybuje od 1400 do 1700 hodin za rok. Na plochu  $1\text{m}^2$  dopadne ročně průměrně 1 100 kWh energie. Za předpokladu dobré účinnosti některého ze solárních systémů je zřejmé, že z malé plochy lze získat velký výkon v přeměně slunečního záření na jinou energii.

Globální sluneční záření na území ČR v  $\text{MJ/m}^2$  za rok je uvedeno na obrázku č. 1 (zdroj ČHMÚ). Rozložení dopadu slunečního záření na plochu jeden metr-čtverečný v MWh za rok je znázorněno na obrázku č. 2.



Obrázek 1: Globální sluneční záření



Obrázek 2: Rozložení dopadu slunečního záření

Využití energie slunce v našich podmínkách se již řadu let uplatňuje ve využití slunečního záření jako zdroje tepla a to pomocí solárních kapalinových kolektorů. Na našem trhu je celá řada výrobků, které nabízejí akreditovaní výrobci i zhotovitelé. V katalogu České energetické agentury, vydaném konzultačním střediskem Eko WAT, najdeme téměř 40 těchto firem. Nabízené výrobky různých parametrů zajišťují jednak přímý ohřev vody a výměník, kde v primárním uzavřeném okruhu cirkuluje nuceným oběhem voda ze slunečního kolektoru do výměňkové spirály v akumulacím výměníku z teplovodního okruhu pro ohřev vody určené pro teplovodní vytápění objektu, nebo je rovněž napojená do vodovodní instalace okruhu rozvodu teplé vody v objektu.

## 2.2 Historie

Historie solárního článku se začala datovat rokem 1839, kdy francouzský experimentální fyzik Edmund Becquerel při pokusech s 2 kovovými elektrodami umístěnými v elektrovedivém roztoku zjistil, že při osvětlení zařízení vzrostlo na elektrodách napětí (tomuto jevu říkáme fotovoltaiický efekt). V roce 1877 byl objeven fotovoltaiický efekt na

selenu (W. G. Adams a R. E. Day) a vyroben první článek. Důležitým krokem v historii byl objev způsobu růstu monokrystalu křemíku polským vědcem Czochralským v roce 1918. Přestože byl fotovoltaický efekt postupně objeven i u jiných prvků (sírnik kadmia, oxid mědi), křemík se ukázal jako nejvýhodnější. Za vynálezce křemíkového solárního článku bývá označován Američan Russel Ohl (1941). Patent na “převaděč solární energie” dostali však 5. března 1954 D. M. Chapin, C. S. Fuller a G. L. Pearson, kteří o měsíc později předvedli křemíkové solární články s účinností 4,5 % a později 6 %. Další vývoj solárních článků urychlilo rozhodnutí použít je jako zdroj energie pro družice Země. Účinnost článků postupně stoupá, v roce 1958 dosáhla 9 %. To už je postačující na to, aby první umělá družice Spojených Států (Vanguard I), vypuštěná 17. března téhož roku, mohla být takovými články napájena (0,1 W, rozměry cca 100 cm<sup>2</sup>, družice pracovala 8 let). Explorer VI, vypuštěný o rok později, měl už solárních článků 9 600 (1 x 2 cm). V roce 1960 se účinnost článků vyhoupla na “neuvěřitelných” 14 %. A tak první telekomunikační družice, legendární Telstar, mohla být zásobena zdrojem o 15 W. Dalším důležitým mezníkem pro rozvoj fotovoltaiky a zejména výzkumu a vývoje v této oblasti byla celosvětová ropná krize v roce 1973. Dnes je již využití fotovoltaiky různorodé.

## 2.3 Proč solární energii

Poptávka po energii byla vždy hlavní hybnou silou rozvoje průmyslu. Vynález parního stroje vyvolal průmyslovou revoluci a následný vývoj energetického hospodářství na bázi dřeva a uhlí. Od té doby je nepřetržitý růst energetického hospodářství zaměřený na různé zdroje energie, jako je jaderná, větrná, vodní, olej a plyn. Jaderná energie je velmi nákladná a představuje nebezpečí z ozáření a problémy s vyhořelým palivem. Elektrické zdroje energie používající uhlí, dřevo, plyn, a olej vytvářejí velké množství znečištění, nebo emisí oxidu uhličitého, jenž představuje zdravotní rizika. Všechny tyto zdroje elektrické energie vyžadují velké kapitálové investice a plánované údržby. V případě, že využijeme uhlí a spalovací elektrárny, což představuje vysoké kapitálové investice, náklady na přepravu uhlí a zpoždění dodávky za nepříznivých klimatických podmínek by mohlo představovat vážné problémy. Naproti tomu solární zdroj energie nezpůsobuje znečištění, je samostatný, spolehlivý, dlouhodobý, snadný na údržbu a celoročně kontinuální s neomezeným provozem za mírné náklady. Přes všechny tyto výhody solární články, téměř 55 roků po jejich vynálezu, generují pouze 0,04% světové elektřiny dodávané do sítí.

## 2.4 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek je velkoplošná polovodičová součástka schopná přeměňovat světlo na elektrickou energii. Využívá přitom fotovoltaický jev. Na rozdíl od fotočlánků může dodávat elektrický proud.

Ať již je typ článku jakýkoliv, vždy se jedná o velkoplošnou polovodičovou součástku s jedním nebo i více PN přechody. Rozměry komerčně vyráběných solárních článků nejsou větší než 200 mm a tloušťka nepřesahuje přes 400  $\mu\text{m}$ . Jedná se tedy o velice tenké destičky. Přední strana solárního článku je uzpůsobena k pohlcování slunečního záření. Solární články jsou ve většině případů opatřeny z přední i zadní strany kovovými kontakty pro připojení sběrných vodičů. Po vystavení přední strany solárního článku slunečnímu záření zachycené fotony generují v křemíku kladné a záporné náboje. Dosáhnou-li náboje polovodičového přechodu, jsou separovány – elektrony v  $N^+$  a kladné náboje v základním P materiálu. Na kontaktech solárního článku se objeví stejnosměrné napětí o velikosti řádově stovky mV. Připojeným vnějším obvodem potom protéká stejnosměrný elektrický proud. Velikost proudu je úměrná intenzitě slunečního záření. Kladný pól je na zadní straně destičky v podobě celoplošného kontaktu a záporný pól je na přední straně tvořen kontaktní mřížkou tak, aby pokrývala co nejmenší plochu. Typickými parametry solárních článků je napětí naprázdno  $U_{oc}$ , proud nakrátko  $I_{sc}$ , faktor zaplnění FF a účinnost EFF. Elektrické parametry jsou měřeny za standardních podmínek tj. intenzita záření  $1000\text{Wm}^{-2}$  při AM 1,5 a teplotě  $25^\circ\text{C}$ . K výrobě 1kW je potřeba cca  $8\text{m}^2$  fotovoltaických panelů.

## 2.5 Materiály pro výrobu fotovoltaických článků

Podíl na trhu se solárními články zahrnuje 55% polykrystalu, 30% z monokrystalu křemíku, 11,8% amorfního křemíku (a-Si) a 3,5 % z páskového křemíku. Telurid kadmia byl používán nejprve pro výrobu solárních článků v roce 1960, ale jeho použití bylo přerušeno vzhledem ke své extrémně nízké absorpční schopnosti. Vysoká absorpce světla je hlavním požadavkem na solární materiály. Vysokou absorpční schopnost je možné získat kombinací na tenkých vrstvách materiálů složených ze skupiny III-V polovodičových materiálů, jako jsou GaAs, InP, CIS, CIGS, a CdTe.

Polykrystalické solární články za použití tenkých vrstev mohou mít účinnost konverze vyšší než 30%. Výzkumná a vývojová činnost zaměřená na solární články nebo PV buňky zvyšují účinnost na téměř 40% v laboratorních podmínkách.

Existují tři základní typy solárních článků, které jsou široce používány. Patří mezi ně krystalické křemíkové články s účinností přeměny v rozmezí 15 až 22%, GaAs solární články s účinností počínaje 26 až 29% a různé druhy buněk z tenkých filmů s účinností v rozmezí 32 až 38%. GaAs je velmi nákladný na výrobu, a proto je vhodný pro omezené aplikace, kde cena není problém, nebo pokud se jedná o malé plochy. Účinnost přeměny organických solárních článků se v současnosti pohybují mezi 3 a 5%.

**Tabulka 1: Efektivita a výhody materiálů**

Materiál	Efektivita [%]	Výhody
Gallium arsenide (GaAs)	18-24	Velmi vysoká efektivita
Polykrystalický křemík	13-16	Průměrná efektivita, nízká cena
Monokrystalický křemík	14-15	Malé náklady na výrobu
Tenkovrstvé materiály	14-18	Minimální požadavky na materiál
Cadmium telluride (CdTe)	10-12	Nižší cena na watt
Copper-indium gallium selenide (CIGS)	10-12	Nejnižší cena za watt
Organické materiály	4-6	Malé náklady na výrobu
Plastické materiály	3-5	Velmi nízké náklady na výrobu

Nové výzkumy a technologie zlepšují vlastnosti solárních článků. Odraženou energii lze ovlivnit povrchovou vrstvou skládající se z průhledného polymeru, ve kterém jsou v pravidelném rozestupu rozmístěny miniaturní nanodrátky z monokrystalického křemíku. Tyto nanotyčky jsou od 0,5 po 2 mikrometry široké, s délkou 30 až 200 mikrometrů. Celistvé plochy křemíkové vrstvy solárních článků mají drážkování, které podstatně snižuje odrazivost, způsobuje rozptyl a zlepšuje „kontakt“ světla s materiálem, krátká tenounká křemíková nanovlákna absorbují záření po celé své délce, čímž se výrazně zvyšuje účinná plocha. Zdroj: [1]

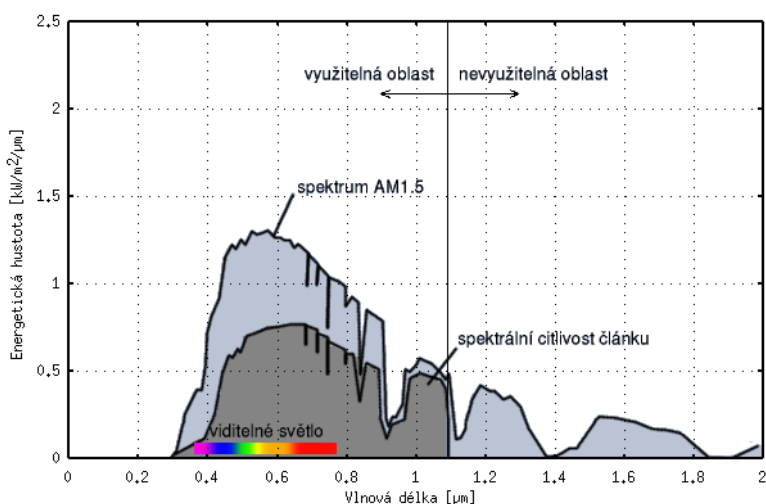
Zlepšit účinnost lze také pomocí fotonové fúze, což je proces, který vede k inovaci procesu přeměny fotonů s malou energií na fotony o vyšší energii. Za pomoci dvou na světlo reagujících látek se podařilo změnit fotony normálního světla ze slunečních paprsků a vázat tuto energii do fotonů o konkrétní vlnové délce. Fotovoltaické články neumí využít světlo o dlouhé vlnové délce, a tak je třeba změnit vlnovou délku u světla přicházejícího ze Slunce. Světlo dopadající na fotovoltaický článek musí mít dostatečnou energii, aby článek mohl

vyrábět elektřinu. Pro křemíkové fotovoltaické články potřebuje foton energii minimálně 1,12 eV, což odpovídá vlnové délce asi 1,1 mikrometru. Zdroj: [2]

## 2.6 Přeměna energie ze slunce

Viditelné záření tvoří jen 45 % dopadajícího záření. Příkon záření dopadajícího na povrch zemské atmosféry činí  $1\,373\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (solární konstanta). Ve skutečnosti není konstantní, neboť oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, a to způsobuje její kolísání přibližně  $\pm 3\%$ . Malé změny solární konstanty jsou též závislé na cyklech sluneční aktivity dosahující maximálně desetin procenta.

Část záření je pohlcena atmosférou, což je nejkratší část ultrafialového záření. Do vlnové délky 290 nm je pohlcena zcela, od 290 do 320 nm zčásti (pohlcuje ozónová vrstva) a dále vlnové délky infračerveného záření (pohlcuje oxid uhličitý a voda).



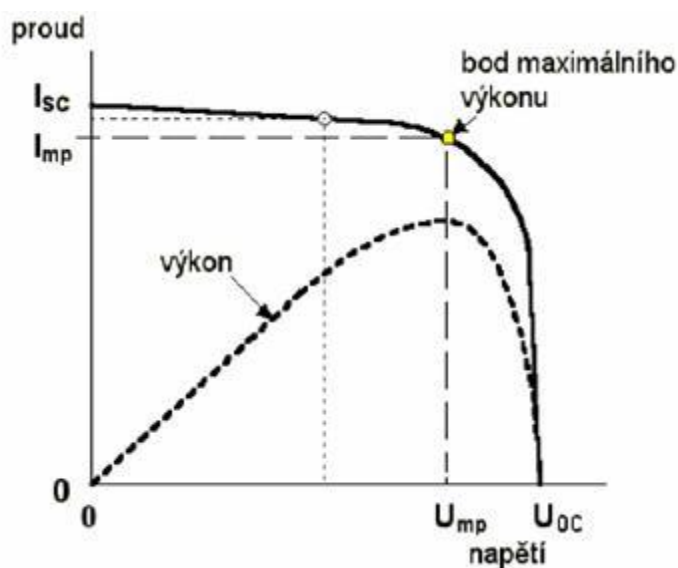
Obrázek 3: Spektrální citlivost solárních článků (Zdroj:solartec.cz)

Elektrický výkon  $P_{\text{out}}$  vyráběný na ploše solární buňky je důsledek příchozí energie od Slunce, která produkuje proud na ploše, což představuje elektrickou hustotu  $J\text{ [A}\cdot\text{m}^{-2}]$ , pak můžeme napsat:

$$P_{\text{out}} = JU \quad (1)$$

kde  $U$  je napětí mezi anodou a katodou. Voltampérová charakteristika FV článku má mezní veličiny  $U_{\text{oc}}$  a  $I_{\text{sc}}$ , které nám udávají velikost napětí naprázdno a hodnotu proudu nakrátko. Tyto veličiny závisí na sluneční intenzitě, teplotě článku a spektru světla. Nejvyšší bod na křivce výkonu představuje maximální hodnotu, kterou je FV článek schopen dodat do

zátěže. Maximální výkon závisí na spotřebiči. Typické solární články o velikosti 10 x 10 cm vyrábějí proud o velikosti 3 - 6 A při napětí 0.5 V a dosahují tak výkonu 1.5 - 3 W.



Obrázek 4: Voltampérová charakteristika FV článku

Bod maximálního výkonu představuje nejlepší termodynamickou účinnost přeměny energie. Termodynamická účinnost FV procesu přeměny energie pro buňku na obrázku je:

$$\eta = \frac{IU}{P_{IN}} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Jak je vidět z obrázku 5, ideálně tvarovaná V-A charakteristika by měla být pravoúhlá, tím pádem bude konstantní proud, až dokud nedosáhne napětí naprázdno. Pro tyto vlastnosti, je maximální výkon roven proudu  $I_{sc}$  vynásobený napětím  $U_{oc}$ . Termín Fill Factor (FF) byl zaveden pro měření vlastností, zda je V-A charakteristika v souladu s ideálním obdélníkovým tvarem.

$$FF = \frac{I_{mp}U_{mp}}{I_{sc}U_{oc}}, FF \leq 1 \quad (3)$$

## 2.7 Spolehlivost a životnost solárních panelů

Nejsou žádné vážné problémy se spolehlivostí a dlouhověkostí, pokud jde o solární články a panely. Solární články jsou zcela pasivní a to nevyžaduje žádné externí zásahy. Solární panely nebo moduly mají zaručenou životnost na 25 až 30 let od výrobců. Nicméně měnič, který převádí výstupní stejnosměrnou energii solárního panelu na střídavou elektrickou energii a musí být v souladu s elektrickou rozvodnou sítí, má životnost jen 10 let.



Jedná se o nejdůležitější součást sluneční fotovoltaické elektrárny. Cena měniče se pohybuje od 60000 Kč do 80000Kč v závislosti na použitých panelech.

Výkonnost solárních článků má tendenci klesat s dobou provozu po instalaci. Výrobci uvádí pokles účinnosti solárních článků o 20% po 25 letech nepřetržitého provozu. Vrchní vrstva solárního panelu je z plastu nebo ze skla, aby zabránila poškození článků. Ovšem nemůžou zabránit strukturálnímu poškození nebo zhoršení výkonu kvůli dešti, větru, písku nebo sněhu. Kromě toho jsou solární panely navrženy tak, aby odolávaly mechanickému namáhání v náročném prostředí, včetně extrémních teplot a vlhkosti. Dodavatelé panelů nepředpokládají žádnou údržbu. Jakmile jsou panely instalovány na střeše, nemáme k nim snadný nebo pohodlný přístup. Účinnost konverze měniče je nejdůležitější parametr výkonnosti v celém solárním systému. První měnič měl účinnost 92 až 95%. Účinnost druhé generace střídačů je 98%. Takové střídače jsou ovšem dražší, ale je zaručena větší účinnost, lepší spolehlivost a delší životnost.

Podle druhu instalovaného panelu je jeho práce zaručena na dobu pěti let a výstupní rychlost degradace je 0,5 - 1% ročně. To znamená, že po 20 letech provozu bude ve pokles produkce o 10 - 20 %.

Hlavními světovými výrobci solární energie jsou vesměs členy celosvětových společností jako BP (British Petrol) SOLAR, Shel Renewables, Siemens Solar. V Japonsku jsou to společnosti Canon, Kaneka a Sharp.

V České republice zejména společnosti Solartec a Kyocera. Každá z nich je specializovaná na různé výrobní operace.

Degradace je především způsobena poškozením povrchových materiálů. Modul se znehodnocuje, pokud je poškozen laminát, sklo nebo jiný povrchový materiál. Degradaci přispívají také dielektrický průraz nebo odbarvení buněk.

*Ztráta adheze.* Oddělování vrstev představuje rozdělení vazeb mezi vrstvami materiálu, které tvoří modul. Oddělování vrstev vede k neefektivnímu odvodu tepla a zvyšuje se možnost zpětného vytápění buňky. Vyšší teploty buněk snižují provozní způsobilost, a tudíž snížení výkonu.

*Degradace buněk.* Znehodnocení nastane, pokud jsou krystalické křemíkové moduly špatně připojeny a nastane změna ve struktuře nebo geometrii. Nekvalitní pájení vede ke zvýšení přechodového odporu a proud je nucen téct jinudy.

*Degradace způsobené vlhkostí.* Vlhkost způsobující korozi proniká do modulu zadní vrstvou nebo přes jeho okraje a zvyšuje svodové proudy. Voda může také pronikat do netěsných spojení krabiček ze zadní strany modulu. Koroze dokonce může přerušit elektrické spojení mezi modulem a měničem.

*Degradace kvůli prachu a nečistotám na povrchu modulu.* Nečistoty na povrchu modulu způsobí pokles energetického výnosu. Pokud je sklon panelu modulu dostatečně velký, spláchne nečistoty příští silný déšť. V případě, že sklon modulu je nižší než 5°, (moduly jsou téměř vodorovné), pak čištění modulů je nutné provádět v pravidelných intervalech. Potřeba čištění je samozřejmě silně závislá na klimatických podmínkách. Moderní moduly jsou již spolehlivější. Dnes všechny typy modulů na trhu musí projít velmi přísnými testy, než se dostanou do prodeje.

## **2.8 Zvýšení výkonu solárních článků**

Výroba modulů se dnes pohybuje v rozsahu výkonu od jednotek až do hodnot 250 wattů. Pokud potřebujeme dosáhnout výkon větší, než jakého dosahuje jeden modul, lze propojit více modulů mezi sebou do fotovoltaických polí. Propojit moduly lze třemi způsoby:

- sériově – dosáhneme pouze zvýšení vyráběného napětí,
- paralelně – dosáhneme pouze zvýšení vyráběného proudu,
- kombinací obou spojení – zajistí zvýšení vyráběného proudu i napětí.

Konstrukci fotovoltaického pole by měly tvořit moduly stejného typu a stejného výrobce.

Náhradní koncentrované techniky jsou využívány, aby sluneční energie za minimální náklady a bez zbytečných složitostí byla schopna zvýšení účinnosti přeměny solární energie a překročit tak 30% účinnosti. Účinnost solárních článků nemusí být vždy dostatečná, aby vyráběl solární článek elektrickou energii s cílem plnit určité požadavky na zátěži. Solární koncentrované technologie zvyšují výrobní cenu a náklady na instalaci, ale i účinnost a výkon.

Koncentrátory, skládající se z několika optických zrcadel, zintenzivňují sluneční záření 50 až 100 krát. Koncentrátorové solární elektrárny jsou založeny na zrcadlech, které koncentrují sluneční paprsky na potrubí nebo nádobu. Používají se tři typy: centrálně umístěný absorbér energie, parabolické žlaby a parabolické disky. U prvních dvou typů je

teplo předáváno kapalině primárního okruhu, ten zahříváním vody vyrábí páru, která pak pohání běžnou parní turbínu. U typu používajícího parabolický disk je přímo v jeho ohnisku umístěn Stirlingův motor. Tento systém je zatím ve vývojové fázi. [3]

Fresnelovy čočky soustřeďují sluneční energii přibližně 60 krát, ale vyžadují dvouosý natáčecí systém konstruovaný pro sledování dráhy Slunce.

Koncentrátory jsou vyvíjeny ve velkém množství pro komerční aplikace. Testy provedené na těchto koncentrátorech mohou zvýšit účinnost standardních křemíkových solárních buněk téměř o 15% a u GaAs o 20% [4]. Koncentrátory jsou nejúčinnější v prostředích, kde sluneční světlo je nejintenzivnější a minimálně rozptýlené. Nesledovací solární koncentrátory jsou poměrně levné a účinně násobí plochu solárních článků.

## **2.9 Instalace fotovoltaických systémů**

### **2.9.1 Distribuce do sítě**

Fotovoltaické systémy pro přímou dodávku elektrické energie do veřejné distribuční sítě jsou dnes nejrozšířenější a zastupují 90%. PV systémy se připojují k veřejné síti elektrické energie pomocí vhodného měniče, protože modul PV dodává pouze stejnosměrný proud, za kterým je připojen elektroměr. Provozovatelé distribučních anebo přenosových soustav jsou ze zákona povinni elektrinu vyprodukovanou v obnovitelném zdroji energie vykupovat za cenu stanovenou ERÚ po dobu dvaceti let od uvedení zdroje do provozu. Po uplynutí této doby lze fotovoltaický systém dále užívat pro pokrytí vlastní spotřeby elektrické energie. Životnost fotovoltaických modulů je delší než 30 roků.

### **2.9.2 Ostrovní systémy**

Samostatné ostrovní systémy mají výkon od miliwattů až po kilowatty. Nemají spojení s elektrickou sítí. Jejich cílem je zajistit zásobování samostatného systému elektrickou energií také v dobách, kdy nesvítí slunce, nebo je velmi nízká intenzita slunečního záření. Tyto systémy většinou ukládají přebytky energie, které samy vyrobí. Fotovoltaika je považována za nejvýhodnější řešení problému se zásobováním energie v odlehlých územích. Jednoduchý systém Solar Home (SHS) se skládá z fotovoltaického modulu, olověné baterie, nabíjecího regulátoru, a pokud je potřeba i střídače. V jednoduché SHS používají stejnosměrné napětí k pohánění spotřebičů. Je ovšem nutné zajistit bezchybné fungování celého systému a jeho komponent, především vyšší nároky na kvalitní spotřebiče. Dále je potřebná dlouhá životnost,

vysoká účinnost, správný provoz při extrémních teplotách, bezchybný provoz pro všechna možná vstupní napětí na baterii a nízké nároky na údržbu a požadavky na servis.

### **3 Ekonomické podmínky využití solární energie v ČR**

Investice do fotovoltaiky je negativně ovlivněna degradací panelů a špatnými slunečnými podmínkami, ale je částečně kompenzována stoupající výkupní cenou upravovanou každoročně o průmyslovou inflaci. Finanční částka z příjmu za vyrobenou el. energii je osvobozena od daně na dobu 5 let. Stávající předpisy nezaručují nárok na dotaci investičních nákladů. Výkupní ceny jsou garantovány na dobu 20 let.

Pro celkový výpočet návratnosti musíme započítat také změnu výkonu FV modulů v průběhu času. Účinnost výstupu FV modulu se obvykle s časem snižuje, jak modul a komponenty stárnou. V dokumentacích se uvádí roční znehodnocování výkonu mezi 0,5% a 1,0%. Výrobce obvykle garantuje výkon modulu po 10 letech na 90% a po 25 letech na 80% z původního výkonu modulu. Analýza ukazuje, že každé 1% roční degradace výkonu zvýší cenu za energii asi o 1,96%. Následně je nutno ještě započíst ztráty z nominálního výkonu FV elektrárny, které standardně činí 11-16%. Výkonnost FV je ovlivněna teplotou buněk, což je funkce okolní teploty představující ztrátu 0,5%/°C, a ztrátami vlivem reflexe .

Všechny zainteresované strany, včetně podnikatelů a výrobců, potřebují užitečné prediktivní modely pro určení spolehlivosti a návratnosti svých investic. Prediktivní model nabízí zlepšení, návrh umístění a poskytuje odhad výkonu systému během jeho životnosti.

Počáteční investice do fotovoltaického zařízení jsou celkové náklady na projekt plus náklady na financování výstavby. Celkové kapitálové náklady jsou dány:

- plochou - fyzická velikost systému, počet panelů, montáž systému, příprava staveniště, kabeláž a ochrana systému;
- náklady na připojení do sítě - závisí na špičkovém výkonu systému, zahrnují náklady elektrických rozvodů, jako jsou invertory, spínače, transformátory, propojovací relé;
- projektové náklady - nepřímé výdaje, např. revizní zpráva a administrativní úkony.

### 3.1 Cena pořízení fotovoltaického systému

Zde je velký rozdíl mezi náklady na samostatný FV systém a náklady na systém připojený k síti.

Samostatné (ostrovní) FV systémy mohou mít odlišné účely použití. Ve většině případů jsou ostrovní systémy vyráběny v malém množství, proto jsou dražší. Náklady na výrobu elektřiny v samostatném systému nejsou příliš významné, protože náklady na moduly jsou stejné pro všechny aplikace. Výjimkou jsou domácí solární systémy, které jsou vyráběny ve velkých počtech.

Ceny fotovoltaických panelů i celých elektráren jsou především dány vývojem ceny křemíku. V minulosti klesaly ceny o 14 % při každém zdvojnásobení roční produkce. Ke zpomalení tohoto procesu v současnosti došlo v důsledku nedostatku křemíku. Jeho cena prudce stoupla, což zvýhodnilo tenkovrstvé technologie, kde je spotřeba polovodičových materiálů o jeden až dva řády nižší.

V dlouhodobém časovém horizontu je očekáván pokles ceny fotovoltaických elektráren. Hlavními důvody mohou být snižování spotřeby energie ve výrobě solárního křemíku, snižování spotřeby křemíku, zvyšování účinnosti článků, recyklace na konci životnosti a také pokles nákladů v souvislosti s růstem objemu výroby.

Vývoj cen v České republice je ovlivněn změnami kurzu koruny. Výkupní ceny fotovoltaické elektřiny poklesly o 5 % z roku 2009 na 2010, ceny elektráren však klesly o více než 10 %. Investice do fotovoltaiky se tak stala výhodnější, než bylo původně zamýšleno. Návratnost je odhadována na 6 - 8 let. Z roku 2010 na 2011 výkupní ceny se snížily o 63% a návratnost investice je odhadována na 10 - 12 let.

### 3.2 Pořizovací náklady

Náklady na kompletní připojení fotovoltaických systémů do sítě se skládají z nákladů na FV moduly, měnič, montáž, rámy (kotvení), kabeláž nebo elektroinstalační materiál a nákladů na uvedení systému do provozu. Podíl jednotlivých komponent na ceně kompletního systému pro distribuci do sítě závisí na velikosti zařízení. Cena se může pohybovat mezi 120 000/kWp pro malé elektrárny (1 kWp) a 60 000/kWp pro velké elektrárny (1 MWp).

**Tabulka 2: Procento podílu nákladů na instalaci v %**

	1 kWp	5 kWp	20 kWp	1 MWp
FV panel	50,8 %	58,9 %	65,3 %	66,6 %
Střídač	13,8 %	14,9 %	15,0 %	9,2 %
Kotvení	7,1 %	8,6 %	8,4 %	13,8 %
Kabeláž	8,9 %	5,9 %	4,7 %	9,4 %
Uvedení do provozu	19,4 %	11,7 %	6,6 %	1,0 %

Tabulka ukazuje, že náklady na střídač s výjimkou 1MWp jsou téměř konstantní, přibližně 15% z celkových nákladů. Celkové náklady fotovoltaických elektráren se snižují. Důvody tohoto vývoje jsou následující:

- Snižování nákladů fotovoltaických modulů díky zvýšení produkce a lepší výrobní technologii.

- Mnozí výrobci nabízejí takzvaný standard (na klíč) FV systém. Takové standardní FV systémy se skládají ze solárního generátoru o jmenovitém výkonu 5 až 30 kWp a střídače, který je optimálně upravený pro solární generátor a představují standardizovaný systém pro upevnění panelů na střechách.

**Tabulka 3: Ekonomické zhodnocení investičního záměru**

Plocha: [m <sup>2</sup> ]	50	100	150	200
Výše investice (bez DPH):	436 080 Kč	968 760 Kč	1 487 640 Kč	1 922 800 Kč
Počet panelů:	24	54	84	104
Instalovaný výkon: [kWp]	5,52	12,42	19,32	25,3
Cena za 1 kWp:	79 000 Kč	78 000 Kč	77 000 Kč	76 000 Kč

Cena instalace zahrnuje FV panely Trina 230, střídač Fronius, konstrukci a upevnění FV panelů, kabeláž, ochranu přepětí a frekvence, montáž zapojení FV systému, elektro projektovou dokumentaci, administrativní úkony a revizní zprávu.

### 3.3 Náklady na výrobu elektřiny

Cena FV elektřiny stále významně převyšuje cenu energie z jiných zdrojů i většiny ostatních obnovitelných zdrojů energie. Je to hlavně kvůli velké počáteční investici do fotovoltaického systému. Náklady na elektřinu lze vypočítat. Cena elektřiny vyrobená z FV systému závisí na investičních nákladech, celkové době provozní životnosti FV systému,

energetickém výkonu. Jestliže bude financována instalace elektrárny z úvěru, může se posunout návratnost FVE až nad 14 let. Po snížení výkupních cen pro rok 2011 překročí doba návratnosti 20 let, to už je téměř hranice předpokládané životnosti fotovoltaických panelů.

Obecně platí, že životnost FV systému se předpokládá 25 let. Konečný výnos FV systému závisí na několika parametrech, jako je intenzita slunečního záření v daném místě, sklon panelů, azimut a nadmořská výška. Na FV systém do velikosti 5kWp není potřeba časté mechanické údržby. Fotovoltaické systémy s výkonem větším než 5kWp by měly být kontrolovány pravidelně každé tři roky. Další možné náklady jsou: pojištění, daně, správa, měření výkonu, pronájem střechy nebo jiného prostoru. Největší část nákladů na údržbu představují případné opravy nebo nahrazení měniče. Náklady na údržbu se obvykle předpokládají přibližně 1% investičních nákladů ročně.

**Tabulka 4: Výrobní náklady [9]**

Energie	Výrobní náklady [Kč/kWh]
Větrná	8 - 30
Solární	5 - 20
Biomasa	1,7
Vodní	0,1 - 0,8
Tepelná uhelná	0,65 - 3
Tepelná jaderná	0,2 - 2,5

## 4 Ekonomický model a analýza citlivosti

### 4.1 Nákladový model

Během roku 2004 ceny panelů nejdříve rostly, následující rok se ceny stabilizovaly. Tento dvouroční trend pokračoval až do konce roku 2008, kdy pokles poptávky způsobil mírný pokles cen. V roce 2009 trh solárních technologií dále oslaboval až do září, najednou ceny spadly o 32 až 42 % [7]. Snížení poptávky v roce 2009 globální ekonomickou recesí vedly k významnému propadu cen. Z dlouhodobého pohledu je pozorovatelný trvalý pokles cen fotovoltaických článků a panelů, ale v krátkodobém a střednědobém pohledu může docházet k dočasnému růstu cen. FV průmysl pokračuje ve snižování výrobních nákladů a zvyšování účinnosti.

Fotovoltaické panely se rozdělují podle technologie výroby článků na monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstevné - amorfnní. Pro dosažení daného výkonu u tenkovrstvých panelů je potřeba 2 krát větší plocha, než kolik by bylo potřeba při použití mono nebo polykrystalických modulů. Celoroční výnos je ovšem o vyšší, protože fungují velmi dobře i za difuzního záření - není tedy třeba přímého slunečního záření.

**Tabulka 5: Ceny FV panelů**

Panel	Technologie výroby	Výkon [Wp]	Cena bez DPH [Kč]
Yingli YL 230PT - 29b	Polykrystalický	230	11500
Kyocera KD235 GH 2PB	Polykrystalický	235	14490
Kyocera KD 210 GH-2PU	Polykrystalický	210	19778
Kyocera KD 135GH-2P (GHT-2)	Polykrystalický	135	7960
Phono Solar PS 175M-24/F	Monokrystalický	175	14100
Samsung S-energy SM-220 PA8	Polykrystalický	220	19520
Trina Solar TSM-PC05	Polykrystalický	230	17000
Avancis PowerMax 100	Amorfní	100	7530
Avancis PowerMax 110	Amorfní	110	9014
NexPower NH-100 AT_4A	Amorfní	100	5682
Sanyo HIT H250	Monokrystalický	250	16196
Suntech STP200-18/Ud	Polykrystalický	200	16454
Suntech STP260 - 24/Vb	Polykrystalický	260	21373
Suntech STP210-18/Ud	Polykrystalický	210	18933
Evergreen ES-195-RL-TU	Polykrystalický	195	17524

Stejnoseměrné napětí získané z FV panelů přeměněno pomocí měniče napětí na napětí střídavé, je dodáváno přímo do sítě. Účinné, bezpečné vysoce spolehlivé měniče tvoří srdce každého PV systému. Aby měnič pracoval s největší účinností, je potřeba minimalizovat vzdálenost mezi panely a měničem a současně i dobře ho odvětrávat, aby se nepřehříval. Střídače lze rozdělit na jednofázové a vícefázové, nebo podle maximálního výkonu.



**Tabulka 6: Cena střídačů**

Střídač	Max. účinnost [%]	Síťové připojení	Max. Výkon [kW]	Cena bez DPH [Kč]
FRONIUS IG PLUS 70	96,1	2 Fázové	6,5	87395
FRONIUS IG PLUS 100	96,1	2 Fázové	8	94118
FRONIUS IG PLUS 120	96,1	3 Fázové	10	120168
FRONIUS IG PLUS 150	96,1	3 Fázové	12	125210
KACO Powador 25000xi	96,5	3 Fázové	27,5	262000
KACO Powador 30000xi	96,5	3 Fázové	32,9	303000
Kaco Pawador 4000xi DCS	94,4	1 Fázové	4,8	58000
SMA Sunny Boy 4000TL	97	1 Fázové	4	57815
SMA Sunny Boy 5000TL	97	1 Fázové	5	65546
SMA Sunny Mini Central 7000 HV	96,1	1 Fázové	7	75798
SOLUTRONIC Solplus 50	97,4	1 Fázové	5,2	53000
SOLUTRONIC Solplus 55	97,4	1 Fázové	5,7	55000

Další možností investice je pořídit FVE na klíč, kde se nemusí pořizovat jednotlivé prvky samostatně, ale jako komplet, který zahrnuje vše potřebné pro zahájení provozu tj. panely, střídač, rozvaděč, kabeláž, konstrukci, namontování systému, zprovoznění dodávky a revizi el. zařízení.

**Tabulka 7: Fotovoltaické elektrárny na klíč**

Výkon [kWp]	Plocha panelů [m <sup>2</sup> ]	Panely	Střídač	Cena bez DPH [Kč]	Cena za 1 Wp [Kč/Wp]	Zhotovitel
3,15	25	14x SOLARWATT M220 60 GET AK - 225 Wp	Solarmax S3000	411.000	130,48	VR OZE systems s.r.o
3,29	25	14x SOLARWATT M220 60 GET AK - 235 Wp	Solarmax S3000	429.000	130,40	VR OZE systems s.r.o
4,05	32	18x SOLARWATT M220 60 GET AK - 225 Wp	Solarmax S4200	528.000	130,37	VR OZE systems s.r.o
4,95	39	22x SOLARWATT M220 60 GET AK - 225 Wp	Solarmax S4200	624.000	126,06	VR OZE systems s.r.o
5,98	46	26x SOLARWATT M220 60 GET AK - 230 Wp	Solarmax S6000	732.000	122,41	VR OZE systems s.r.o
7,04	54	32x SUNTECH 220W	SMA Sunny Mini Central 7000TL	568.000	80,68	FVE SOLAR GROUP s.r.o.
10,12	75	46x SUNTECH 220W	SMA Sunny Mini Central 10000TL	816.000	80,63	FVE SOLAR GROUP s.r.o.
12	92	52x SOLARWATT M220 60 GET AK - 230 Wp	2x Solarmax S6000	1.463.000	121,92	VR OZE systems s.r.o
15,96	106	81x IBC MonoSol 190MS	SMA STP15000TL	1.199.000	75,13	SOLARENVI a.s.
18	138	78x SOLARWATT M220 60 GET AK - 230 Wp	3x Solarmax S6000	2.194.000	121,89	VR OZE systems s.r.o
27,36	188	144x IBC MonoSol 190MS	2x SMA STP	2.078.000	75,95	SOLARENVI a.s.

## 4.2 Analýza citlivosti

Roční peněžní tok zahrnuje výnosy a náklady:

Výnosy:

- Prodej elektřiny
- Stimulační platby
- Daňové odpočty, včetně odpisů
- Pohledávky

Náklady:

- Instalace
- Provoz a údržba
- Výměna zařízení
- Splátky dluhu a úroků

Do celkového finančního modelu musíme započíst celkovou produkci s roční ztrátou výkonu, peněžní toky založené na finančních a ekonomických vstupech pro stanovení nákladů na energii a jiné hospodářské metriky.

- Údaje o počasí. Zahrnují sluneční záření v daném místě pro energetické výpočty, teplota, sněhová pokrývka a další údaje.

- Finanční a ekonomické vstupy. Analýza doby odpovídající životnosti systému, inflační sazby, výšení úvěru a úvěrové sazby.

- Pobídky. Daňové úlevy, pobídky a dotační platby.

- Výkon systému. Představuje výkonnost jednoho nebo více FV polí.

- Ztráty výkonu. Představují nesoulad modulů, ztráty v DC vedení, zastínění, znečištění, ztráty na měniči. U starších FV systémů představovaly ztráty 14%, nyní se zvýšila spolehlivost jednotlivých komponent systému a ztráty na výkonu činí 11%. Dalším faktorem je odpojení systému z důvodu údržby a roční snížení výkonu systému v důsledku stárnutí zařízení.

- Náklady. Investiční náklady představují náklady na instalaci modulů, měničů a ostatních komponent. Provozní náklady tvoří opakující se výdaje na údržbu, opravy a výměnu zařízení a činí přibližně 1% z ročního CF.

#### **4.2.1 Vliv počasí**

Fotovoltaika v klimatických podmínkách v ČR a za současných pořizovacích a výkupních cen je výhodný způsob pro výrobu elektrické energie. Do budoucna se dále bude cena panelů snižovat a účinnost zvyšovat. V jižních státech EU (Španělsko, Itálie, Francie, Portugalsko nebo Řecko) jsou ještě výrazně lepší klimatické podmínky pro provoz fotovoltaických zařízení, v Německu nebo Rakousku jsou klimatické podmínky stejné nebo horší než v ČR.

Ideální podmínky pro výrobu elektřiny jsou za přímého slunečního záření při bezmračné obloze. Při oblačném počasí klesá výnos přibližně na 1/3 a při zatažené obloze na 1/10 maximálních hodnot.

1kWp nainstalovaného výkonu vyrobí za rok průměrně 900 kWh elektrické energie. Tato hodnota se může zvyšovat díky stoupající nadmořské výšce nebo klesat v nížinách kvůli mlze a inverzi. Vyrobený výkon se může lišit také v závislosti na geografickém umístění, nejvíce slunečních dnů je na Jižní Moravě a v Jižních Čechách, nejméně v Severních Čechách.

**Tabulka 8: Výroba a roční výnos elektřiny v závislosti na umístění a období**

Město / Měsíc	Liberec [kWh]	Praha [kWh]	Klatovy [kWh]	Karlovy Vary [kWh]	Hradec Králové [kWh]	České Budějovice [kWh]	Brno [kWh]	Ostrava [kWh]	Hodonín [kWh]
Leden	306	300	326	310	310	346	318	338	343
Únor	487	453	487	480	475	499	481	486	501
Březen	765	746	765	739	765	787	782	745	815
Duben	968	963	962	953	971	953	990	910	1020
Květen	1160	1140	1120	1110	1170	1130	1170	1110	1190
Červen	1040	1050	1030	1020	1060	1050	1110	1040	1150
Červenec	1110	1140	1170	1130	1150	1180	1210	1140	1250
Srpen	1030	1050	1070	1030	1060	1080	1100	1040	1130
Září	774	789	833	799	787	823	838	773	904
Říjen	665	648	668	626	681	697	700	687	717
Listopad	294	266	307	298	303	319	315	330	346
Prosinec	211	202	225	203	219	253	222	248	237
Roční výroba el. [kWh]	8810	8747	8963	8698	8951	9117	9236	8847	9603
Prům. měsíční výroba el. [kWh]	734	729	747	725	746	760	770	737	800
Roční CF* [Kč]	107 923	107 151	109 797	106 551	109 650	111 683	113 141	108 376	117 637
Roční CF** [Kč]	66 075	65 603	67 223	65 235	67 133	68 378	69 270	66 353	72 023

Údaje o počasí z tabulky byly zpracovány z [10] s ideálním sklonem 35° panelů a orientací na jih.  
Výkon FVE navržen na 10 kWp.

\* Výkupní cena 12,25 Kč/kWp (2010)

\*\* Výkupní cena 7,5 Kč/kWp (2011)

#### 4.2.2 Vliv umístění FV elektrárny

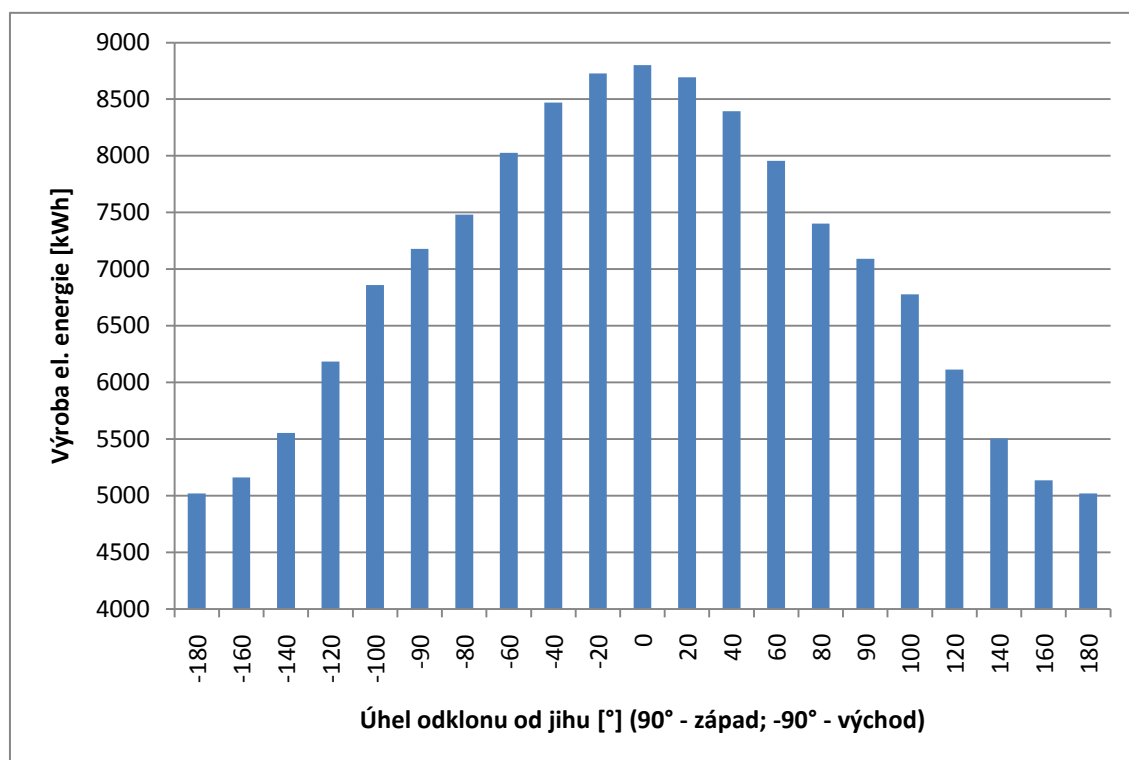
Ideál je jižní směr s maximálním odklonem 10-15° na západ. Při orientaci v rozsahu jiho-východ až jiho-západ jsou maximální ztráty dosaženého výkonu přibližně 5%. Pro maximální využití nesmí slunečnímu záření nic bránit v tom, aby paprsky dopadaly na panely. Sklon panelů by měl být mezi 35-45° od vodorovné roviny. Pokud je střecha odkloněna od jihu o více než 45° na východ či západ, stavba se nedoporučuje.

**Tabulka 9: Závislost úhlu odklonu od jihu panelů na celkovém výnosu**

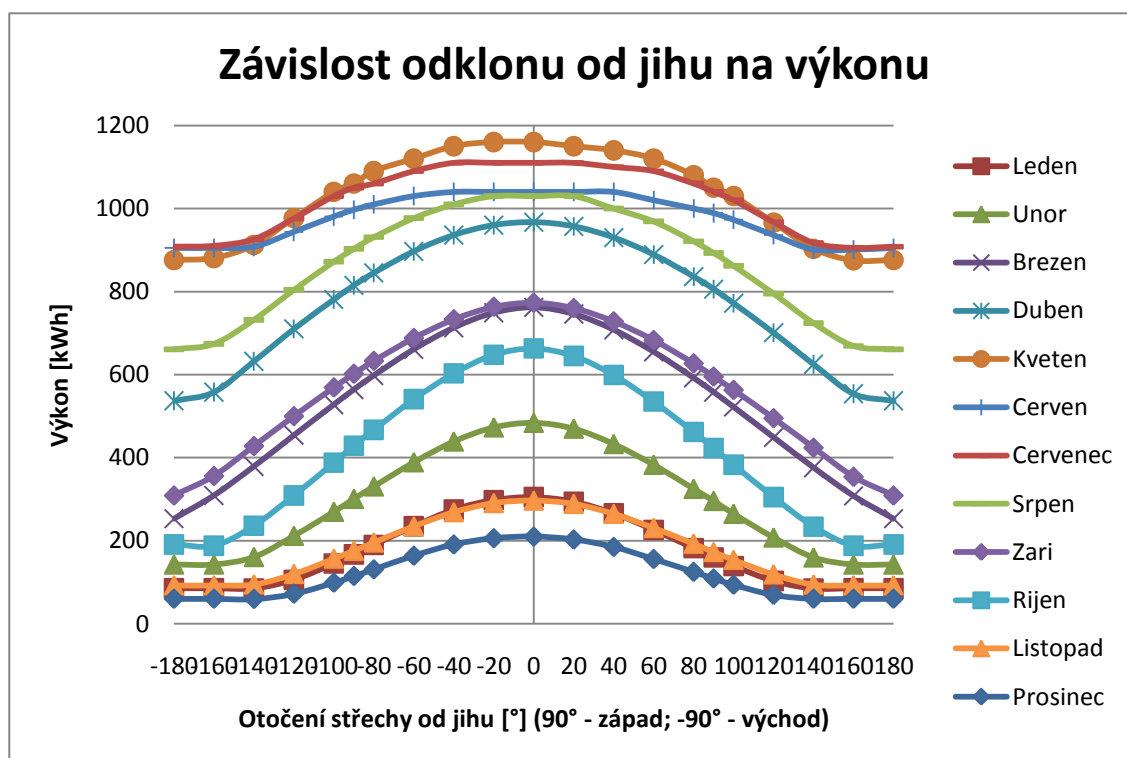
	Sever			Východ			Jih			Západ				
Odklon od jihu / Měsíc	-180	-140	-120	-90	-60	-40	-20	0	20	40	60	90	120	140
Leden	85,4	85,2	106	167	235	275	298	305	294	266	226	160	103	84,9
Únor	143	161	212	301	389	439	473	484	470	433	383	296	208	160
Březen	253	379	454	564	661	713	749	762	746	708	655	558	449	376
Duben	537	632	710	815	897	936	960	967	957	930	889	806	701	625
Květen	876	912	977	1060	1120	1150	1160	1160	1150	1140	1120	1050	966	903
Červen	905	908	944	997	1030	1040	1040	1040	1040	1040	1020	989	936	901
Červenec	908	926	976	1050	1090	1110	1110	1110	1110	1100	1090	1040	967	917
Srpen	661	732	804	903	977	1010	1030	1030	1030	1000	969	893	795	724
Září	309	428	500	602	688	733	763	773	760	728	683	595	495	424
Říjen	191	236	309	429	541	603	648	663	645	599	535	423	305	234
Listopad	92,5	94,8	120	176	235	269	291	297	289	265	231	173	119	94,4
Prosinec	60,2	59,6	72,2	115	164	191	206	210	203	185	156	109	69,6	60,2
<b>Celkem [kWh]</b>	<b>5021,1</b>	<b>5553,6</b>	<b>6184,2</b>	<b>7179</b>	<b>8027</b>	<b>8469</b>	<b>8728</b>	<b>8801</b>	<b>8694</b>	<b>8394</b>	<b>7957</b>	<b>7092</b>	<b>6113,6</b>	<b>5503,5</b>
Roční CF*	61 508	68 032	75 756	87 943	98 331	103 745	106 918	107 812	106 502	102 827	97 473	86 877	74 892	67 418
Roční CF**	37 658	41 652	46 382	53 843	60 203	63 518	65 460	66 008	65 205	62 955	59 678	53 190	45 852	41 276

Údaje z tabulky byly zpracovány z [10] s ideálním sklonem panelů 35° pro Liberec. Výkon FVE navržen na 10 kWp.

\* Výkupní cena 12,25 Kč/kWp (2010) \*\* Výkupní cena 7,5 Kč/kWp (2011)



**Obrázek 5: Výroba el. energie v závislosti na úhlu odklonu od jihu**



Obrázek 6: Závislost odklonu od jihu

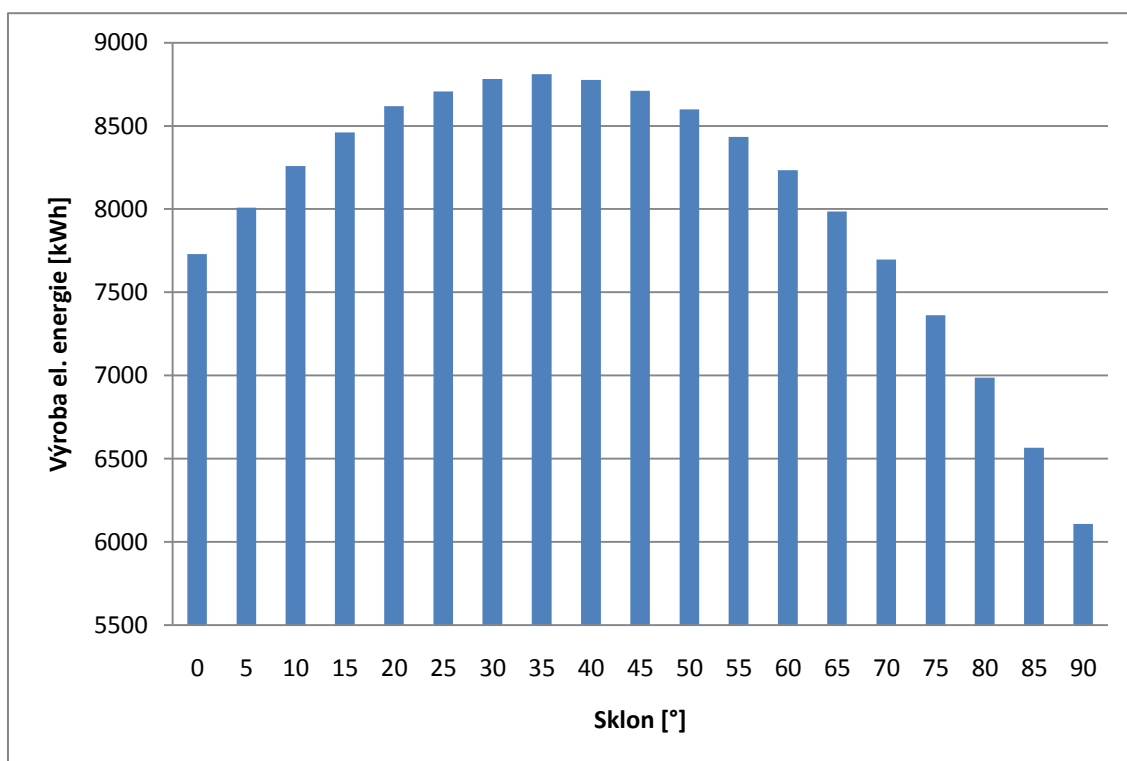
Panely lze orientovat i vodorovně při ztrátě 10% nebo svisle při ztrátě 30%. Sklon panelů závisí na typu systému a způsobu jeho využívání. Při celoročním provozu je výhodnější umístit panely svisleji (50°), protože sluneční kotouč je nízko v zimních měsících, naopak maximalizaci zisku u systémů pro výrobu elektřiny do sítě dosáhneme umístěním panelů vodorovněji (35°), protože během letních měsíců, kdy je nejvíce slunečních dnů a Slunce je vysoko na Zemi dopadá 75% ročního úhrnu globálního záření. Nejvíce se vyrobí elektrické energie v květnu a červenci naopak nejméně výnosné měsíce jsou v prosinci a listopadu, kdy panely vyrobí pouze 20% el. energie.

**Tabulka 10: Závislost úhlu sklonu panelů na celkovém výnosu**

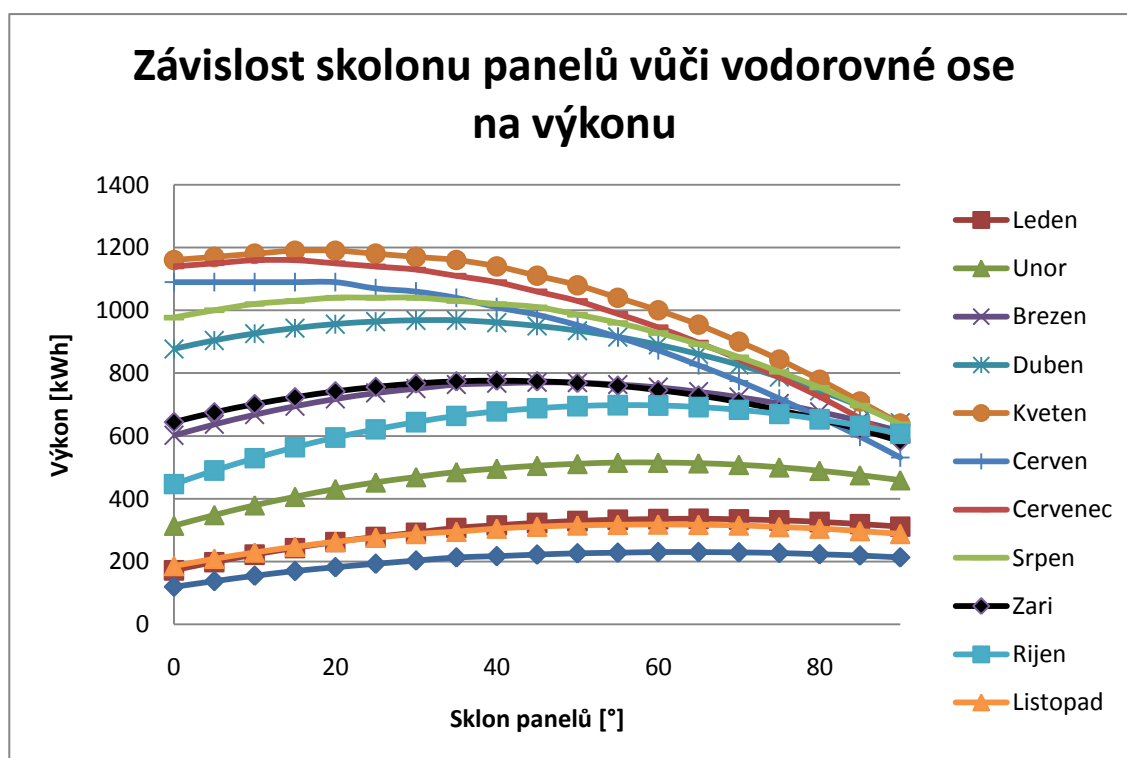
Sklon/Měsíc	0°	10°	20°	30°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Leden	172	222	262	292	307	315	329	335	334	326	311
Únor	314	379	431	469	485	496	511	515	508	489	459
Březen	602	668	718	751	764	768	770	755	724	677	615
Duben	877	926	956	968	968	961	935	890	826	744	642
Květen	1160	1180	1190	1170	1160	1140	1080	1000	900	779	639
Červen	1090	1090	1090	1060	1040	1010	953	873	775	659	531
Červenec	1140	1160	1150	1130	1110	1090	1030	946	845	725	584
Srpen	977	1020	1040	1040	1030	1020	986	928	851	754	637
Září	644	701	742	767	774	776	769	746	708	653	583
Říjen	447	529	595	644	664	678	695	697	683	653	607
Listopad	186	229	263	288	295	305	315	318	315	305	288
Prosinec	120	155	182	203	213	217	226	230	229	223	213
<b>Celkem [kWh]</b>	<b>7729</b>	<b>8259</b>	<b>8619</b>	<b>8782</b>	<b>8810</b>	<b>8776</b>	<b>8599</b>	<b>8233</b>	<b>7698</b>	<b>6987</b>	<b>6109</b>
Roční CF*	94 680	101 173	105 583	107 580	107 923	107 506	105 338	100 854	94 301	85 591	74 835
Roční CF**	57 968	61 943	64 643	65 865	66 075	65 820	64 493	61 748	57 735	52 403	45 818

Údaje o počasí byly zpracovány z [10] s ideální orientací panelů na jih pro Liberec. Výkon FVE navržen na 10 kWp.

\* Výkupní cena 12,25 Kč/kWp (2010) \*\* Výkupní cena 7,5 Kč/kWp (2011)



**Obrázek 7: Výroba el. energie v závislosti na úhlu sklonu panelů vůči vodorovné ose**



Obrázek 8: Závislost sklonu natočení na výkonu

Existují dva systémy uchycení panelů - statické a natáčecí systémy. Natáčecí mají vyšší výkon, ale mají poněkud vyšší pořizovací náklady, natáčecí mechanismy jsou náchylné na mechanické poškození, potřebují pravidelnou údržbu a větší prostor na provoz. Statické systémy mají výhodu nulové údržby a nulových provozních nákladů.

#### 4.2.3 Ekonomické vlivy

Podle zákona č.180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie na základě Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2001/77/ES ze dne 27. 9. 2001 se Parlament České republiky dne 31. 3. 2005 usnází na zákonu č.180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kterým se má v zájmu ochrany klimatu a ochrany životního prostředí podpořit využití obnovitelných zdrojů energie a dále zajistit trvalé zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na spotřebě primárních energetických zdrojů. Tento zákon by měl přispět k šetrnému využívání přírodních zdrojů a k trvale udržitelnému rozvoji společnosti, vytvořit podmínky k naplnění indikativního cíle podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny v České republice ve výši 8% k roku 2010 a vytvořit podmínky pro další zvyšování tohoto podílu po roce 2010.

Cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu č. 08/2006 ze dne 21. 11. 2006 se stanovuje výkupní cena pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření na 13,46



Kč/kWh + DPH. Uvedená cena je garantovaná po dobu 20 let. ERÚ podle zákona o podpoře a využívání obnovitelných zdrojů každý rok, zpravidla na konci listopadu, vydává cenové rozhodnutí, které určuje výkupní cenu na příští rok, za kterou se elektřina vyrobená z obnovitelných zdrojů zapojených v daném roce bude vykupovat, a ke které se musí zohlednit po dobu výkupu index cen průmyslových výrobců, přičemž dobu životnosti, a potažmo tak i dobu, po kterou bude výkup probíhat, také ERÚ určuje vyhláškou.

Tento zákon, o podpoře a využívání obnovitelných zdrojů, na jednu stranu určuje, že výši podpory výkupními cenami má být dosaženo patnáctileté návratnosti investice, ale výkupní cena na další rok nesmí současně být nižší než 95% hodnoty výkupních cen roku stávajícího. Tato formulace zákona tak na první pohled značně omezuje schopnost ERÚ korigovat výkupní cenu elektřiny z obnovitelných zdrojů a potažmo tak i její investiční atraktivnost vyplývající z pohybu výrobních cen. Ve skutečnosti má ERÚ ve své pravomoci možnost vyhláškou určit dobu životnosti obnovitelných zdrojů a tedy i dobu výkupu. Skutečnost je taková, že ERÚ v roce 2007 na rok 2008 vyhláškou zvýšil dobu životnosti u FVE z původních 15 na 20 let.

Zákon o obnovitelných zdrojích uvádí, že u výkupních cen u již zapojených slunečních elektráren musí být zohledněn index průmyslových výrobců (PPI), což je statistika, kterou vydává Český statistický úřad. To znamená, že výkupní cena může v průběhu životnosti slunečních elektráren stoupat, ale i klesat. ERÚ ve své vyhlášce určil, že se výkupní ceny meziročně zvyšují s ohledem na PPI minimálně o 2% a maximálně o 4%. ERÚ zajistil kontinuální valorizaci výkupních cen každoročně minimálně o 2% v průběhu celé životnosti elektráren, což způsobuje částečnou kompenzaci degradace panelů. Zpracováno z [5] a [6].

**Tabulka 11: Výkupní ceny a zelený bonus [8]**

Rok	Výkupní ceny [Kč]	Zelený bonus [Kč]	Výkupní ceny [Kč]	Zelený bonus [Kč]
	pod 30 kWp		nad 30 kWp	
2005	6,28	5,67	*	*
2006	13,8	12,99	*	*
2007	13,8	12,75	*	*
2008	13,73	12,75	*	*
2009	12,89	11,91	12,79	11,81
2010	12,25	11,28	12,15	11,18
2011	7,5	6,5	5,9	4,9

\* FV systémy nebyly ještě rozděleny do kategorií nad a pod 30 kWp

Výkupní ceny jsou uvedeny za 1 kWh

### 4.3. Souhrn výsledků analýzy citlivosti

Každý parametr ovlivňuje konečný výnos naší FVE. Tabulka 12 ukazuje konečný výnos z FVE vůči předpisové FVE tj. elektrárně s životností 25 let, sklonem střechy 35° se směrem přímo na jih, plochou 100 m<sup>2</sup>, ztrátami 11%, umístěné v Hodoníně, s roční degradací panelu 1%, výkupní cenou energie 7,5 Kč/kWp, nulovými náklady na údržbu, panelem o výkonu 220 Wp a předpokládaným výdělkem 2 708 733 Kč.

Tabulka 12: Výsledky analýzy citlivosti

Provedená změna	CF [Kč]	Rozdíl [Kč]	Rozdíl [%]
Plocha 80 m <sup>2</sup>	2 167 692	541 041	19,97
Sklon střechy 10°	2 557 867	150 866	5,57
Sklon střechy 80°	1 948 461	760 272	28,07
Azimut 45°	2 557 867	150 866	5,57
Azimut -90°	2 101 244	607 489	22,43
Ztráty systému 14%	2 617 974	90 759	3,35
Liberec	2 495 930	212 803	7,86
Výkon panelu 230 Wp	2 609 626	99 107	3,66
Roční degradace 2%	2 089 807	618 926	22,85
Výkupní cena energie 12,25 Kč	4 159 940	+ 1 451 207	+ 53,58
Náklady na údržbu 1%	2 495 930	212 803	7,86

Hodnocení efektivnosti investice se provádí porovnáním vynaloženého kapitálu s výnosy investice za předpokládanou dobu provozu. Vycházíme z kalkulace jednorázových investičních výdajů pořízení investice a ročních výnosů za období životnosti fotovoltaické elektrárny.

Investice do fotovoltaiky má dlouhodobý charakter, to znamená, že přináší příjmy v budoucnu během dlouhého období. V ideálním případě se očekává vysoká výnosnost s minimálním stupněm rizika a s nejkratší dobou návratnosti.

Doba splácení informuje o rizikovosti investice a o stupni likvidity. Čím je doba splácení menší, tím lépe. Tuto metodu lze modifikovat tak, že se zavede faktor času, tzn. do vzorce se vloží diskontované hodnoty CF a vznikne tak Metoda čisté současné hodnoty investice, která je založena na porovnání rozdílu mezi současnou hodnotou očekávaných příjmů z investice (CF) a nákladů na investici.

Toto je jen jedna možnost jak určit ekonomičnost takové investice. Je zřejmé, že do tohoto procesu zasahují velké nejistoty. Mnoho parametrů se v průběhu let může změnit,

zejména úrokové sazby, což je jeden z nejdůležitějších parametrů. Lze očekávat zvýšení hodnoty generované elektřiny v průběhu let. Pokud existuje pevná výkupní sazba, pak to může být bráno jako konstanta, která činí výpočet spolehlivějším. Je třeba zdůraznit, že výše uvedený postup je jen peněžní účetnictví. Makroekonomické faktory, jako jsou například zachování zdrojů a životního prostředí, se zde nezadávají a neodrážejí. Pokrok ve výrobě jednotlivých FV komponentů vedly k významnému snížení nákladů, do sítě připojené FV elektrárny jsou v oblasti střední Evropy efektivní pouze s určitým stupněm podpory.

Obecně lze předpokládat, že náklady na elektřinu ze sítě se budou zvyšovat v příštích desetiletích. Trend tohoto nárůstu závisí také na míře liberalizace trhu s elektřinou, marži pro zabezpečení dodávek, distribuci elektřiny a v neposlední řadě na osudu atomové energie. Prakticky všechny tyto vlivy, s výjimkou liberalizace trhu, směřují k vyšším nákladům na elektřinu. Další vliv pochází z vývoje technologie pro uchování elektřiny.

Uvolňování trhu s elektřinou bude mít vliv na připojování FV elektráren k elektrické síti. Následující trend může být:

- Liberalizace povede k nižším cenám elektřiny, ale to může být omezeno na spotřebitele ve velkém měřítku. Pro tento celkový důsledek by mohlo být neutrální vzhledem k rozšíření FV pro distribuované systémy.

- Ceny elektřiny budou odrážet skutečné náklady na výrobu. Ceny se budou lišit v závislosti na denní době a ročním období. Prospěšná pro FVE bude produkce elektřiny během dne.

## **5 Návrh vhodného uživatelského rozhraní pro sestavený analytický model.**

Pro celkovou analýzu fotovoltaické elektrárny jsem sestavil program Solárník. Je naprogramovaný v prostředí Delphi 7.0. Program pomáhá zpracovat podnikatelský záměr a energetický audit investice. Nejprve vypočítá celkovou výrobu elektřiny v kilowatthodinách pro první rok na základě údajů o počasí pro konkrétní zvolenou lokalitu. Solárník pak odhaduje celkovou produkci pro následující roky.

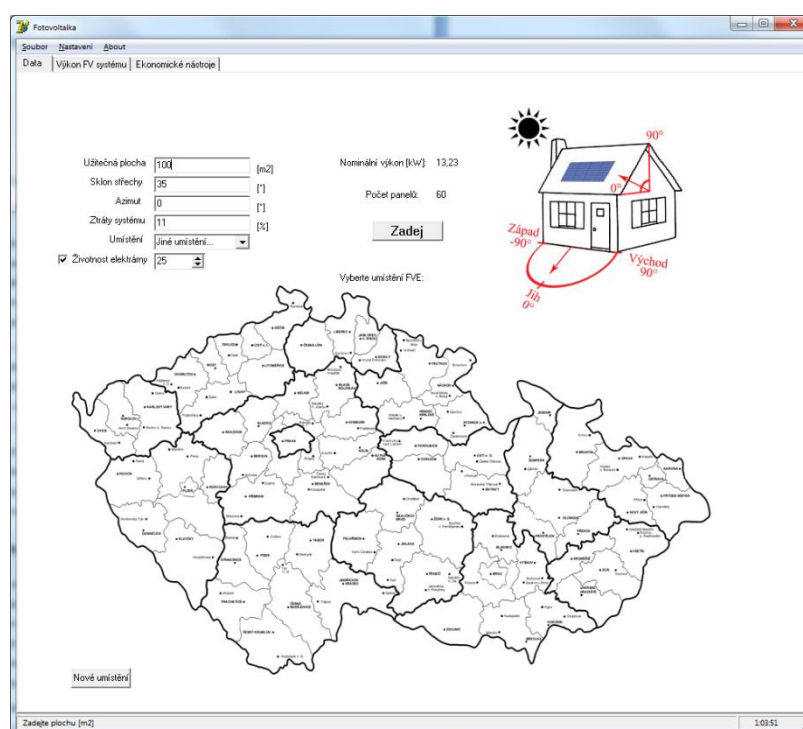
Počasí je soubor údajů zahrnující informace o radiaci, rychlosti větru, teplotě, sněhové pokrývce. Tyto údaje mají velký vliv na výkon systému. V programu můžeme

zadávat data jako vlastní naměřené hodnoty o radiaci z pyranometru. Mít relevantní data je velmi podstatné, a tak jsem zvolil zdroj údajů o počasí z dat [10].

Pro finanční a ekonomické vstupy Solárník vypočítává peněžní toky, závislé na řadě vstupních proměnných popisující projekt jako životnost systému, celková cena instalace, garantovaná výkupní cena, míra valorizace ceny energie, daň z příjmu, osvobození od daně z příjmů a úroková míra. Pokud se nezadá cena instalace, je počítána automaticky podle tabulky 3.

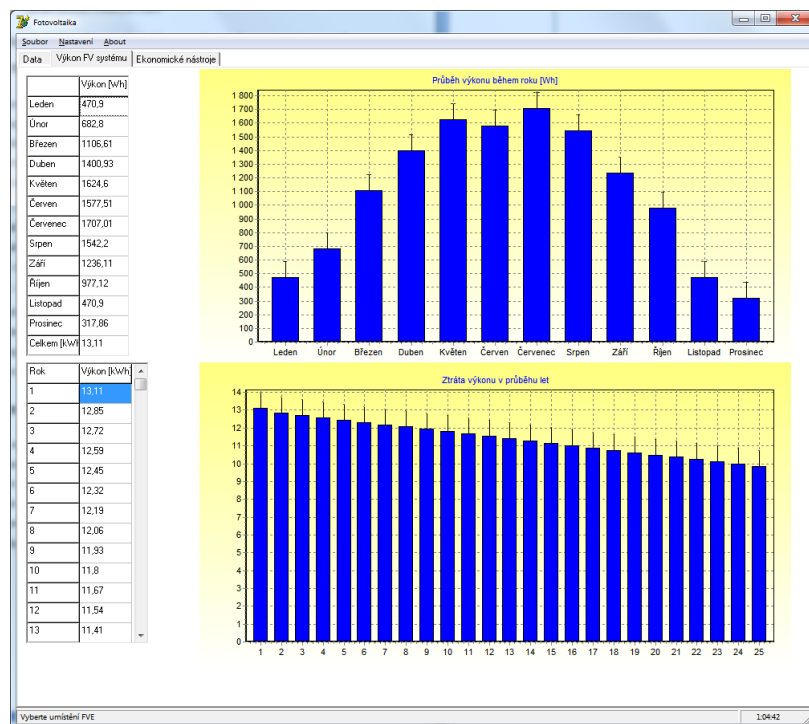
## 5.1 Program Solárník

Program se skládá ze tří částí. První část je vyhrazená pro vstupní hodnoty a parametry pro výpočet nominálního výkonu FVE. Mezi tyto veličiny patří užitečná plocha střechy nebo prostoru pro instalaci, sklon střechy vůči vodorovné ose, azimutu, údaj o kolik stupňů je střecha pootočená vůči jihu, ztráty systému a umístění, kde se elektrárna nachází. V nabídce nastavení parametrů panelu zadáváme hodnoty pro námi zvolený panel. Každý z těchto parametrů ovlivňuje výkon FVE.



Obrázek 9: Solárník - vstupní data

Druhá část programu je zaměřená na výpočet výkonnosti. Příložené tabulky ilustrují průběžnou roční výkonnost a výkonnost elektrárny v průběhu její životnosti pro zadané vstupní veličiny. Obě tabulky jsou zpracovány i graficky.



Obrázek 10: Solárník - výkonnost FVE

Poslední část programu se věnuje ekonomice. Zde je přehledně v tabulce zobrazena výkupní cena pro každý rok navýšená o PPI, roční cash flow, cash flow po odečtení daně, čistá současná hodnota investice, index ziskovosti a likvidita.



Obrázek 11: Solárník - Ekonomické nástroje

## 5.2 Přehled ukazatelů výkonu

Výpočet výkonu je velmi závislý na umístění FVE. Pro odhad vyrobené elektřiny jsem využil web [10] Evropské unie PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). PVGIS je založen na statistických pozorováních z let 1995-2006 o dopadu slunečního záření a dokáže s velkou přesností odhadnout produkci FVE.

$$\text{Nominální výkon} = \text{počet\_panelů} \cdot \text{výkon\_panelů} \quad (4)$$

Nominální výkon představuje maximální výkon FVE bez ztrát. Tato hodnota reprezentuje ideální výkon, a tím způsobem nedostižný výkon. Skutečný výkon musí zahrnovat ztráty: systému, sklonem, orientací, vlivem teploty a vlivem reflexe panelů.

$$Ztráty = 1 - \frac{Z_{\text{Systemu}} + Z_{\text{Sklonem}} + Z_{\text{Orientaci}} + Z_{\text{teplotou}} + Z_{\text{Reflexe}}}{100} \quad (5)$$

$$\text{Výkon}_{FVE} = \text{Nominální výkon} \cdot Ztráty \quad (6)$$

Každý rok klesá výkonnost panelů přibližně o 1-2% viz. kapitola 1.8. Tento parametr lze zadat v nastavení panelu. Výkon v roce  $n$ , lze spočítat následujícím způsobem:

$$\text{Výkon}_n = \text{Výkon}_{FVE} \cdot \left(1 - \frac{\text{degradace}_{\text{panelu}} \cdot n}{100}\right) \quad (7)$$

## 5.3 Přehled ekonomických ukazatelů efektivnosti

Všechny ekonomické výpočty jsou zobrazeny na poslední kartě Ekonomické nástroje. Ekonomické proměnné lze změnit v nastavení ekonomických nástrojů. Výkupní cenu energie v prvním roce uvedení do provozu určuje ERÚ, každý následující rok se navyšuje o procento viz kapitola 3.3.3. Pro každý rok životnosti elektrárny je výkupní cena uvedena v prvním sloupci.

$$\text{Výkupní cena}_n = \text{Výkupní cena}_{n-1} \cdot \left(1 + \frac{\text{Valorizace ceny energie}}{100}\right) \quad (8)$$

Peněžní tok za určité období představuje rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za toto období. V praxi je peněžní tok důležitou veličinou, která vypovídá o schopnosti investice generovat peníze. Fotovoltaická elektrárna je výhodná právě v tom, že jediný výdaj je její pořízení. Cash flow zahrnující náklady na údržbu pro každý rok  $n$ -tý lze spočítat:

$$CF_n = \text{Výkon}_n \cdot \text{Výkupní cena}_n \cdot \left(1 - \frac{\text{Náklady na údržbu}}{100}\right) \quad (9)$$

Metoda čisté hodnoty investice (ČSHI) bere v úvahu faktor času. Hodnota dnešních peněz je vyšší než hodnota stejné částky v budoucnu. Proto zde dochází k přepočtu budoucích příjmů z investice na jejich současnou hodnotu. Investice je efektivní, pokud čistá současná hodnota vyjde kladná. Čistá současná hodnota investice představuje rozdíl mezi současnou hodnotou cash flow a kapitálových výdajů na investici:

$$\text{ČSHI} = SHCF - Ni = \sum_{n=0}^N \frac{CF}{(1+i)^t} - Ni \quad (10)$$

kde  $i$  je diskontní míra. Čím je ČSHI větší, tím lépe. Pokud je  $\text{ČSHI} > 1$ , pak je investice vhodná, je-li  $\text{ČSHI} = 1$ , pak je dosaženo přesně požadovaného výnosu, je-li  $\text{ČSHI} < 1$ , pak je investice nevhodná.

Index ziskovosti představuje relativní ukazatel, který vyjadřuje poměr očekávaných diskontovaných peněžních příjmů z investice k počátečním kapitálovým výdajům. Zatímco čistá současná hodnota představuje absolutně vyjádřený rozdíl mezi diskontovanými peněžními příjmy z investice a kapitálovými výdaji:

$$IZ = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{CF}{(1+i)^t}}{Ni} \quad (11)$$

Rentabilita. Čím je větší, tím lépe. Hodnota ukazatele se srovnává s požadovanou mírou zúročení. Pokud je rentabilita  $>$  požadovaná míra zúročení, pak je investice vhodná.

$$\text{Rentabilita} = \frac{CF}{Ni} \quad (12)$$

## 6 Aspekty efektivnosti využití solární energie

Ceny fotovoltaických panelů, které jsou největší položkou investice, do konce roku 2008 stagnovaly, a tak byl vývoj výkupních cen konstantní. Rozvoj fotovoltaiky byl ve srovnání s ostatními státy pomalý. 1. 1. 2008 byla prodloužena doba výkupu z 15 let na 20 let.

Ceny panelů v ČR se díky posilování koruny snížily přibližně o 20 %, což investice do FV elektráren výrazně zvýhodnilo. V listopadu 2008 ERÚ na tento vývoj reagoval snížením výkupních cen pro fotovoltaiku téměř o 5 %, což je maximální hodnota umožněná zákonem. Oznámení o snížení výkupních cen bylo velkým impulsem pro usilovné a rychlé dokončení projektů před koncem roku 2008, kdy většina licencí byla udělena až v prosinci. Stejně postupovalo Ministerstvo průmyslu a obchodu v roce 2009, ale s tím rozdílem, že v srpnu 2009 tiskovou zprávou oznámilo záměr snížit výkupní ceny pro fotovoltaiku již od 1. 1. 2010.

Byl zde však jeden podstatný rozdíl – časová prodleva do konce roku. Důsledkem bylo horečné uzavírání kontraktů s termínem dokončení do 31. 12. 2009. Realizaci FV elektrárny o nominálním výkonu 2 MWp nabízejí velké firmy i dokonce do 2 měsíců od uzavření kontraktu.

Energetický regulační úřad má povinnost výkupní ceny regulovat tak, aby návratnost investic byla nejvýše 15 let. Očekávaná doba návratnosti je v nejlepším případě 6,5 až 9 let. To ovšem platí pouze pro FVE, které byly uvedeny do provozu před rokem 2011. Právě tento rok se stal pro fotovoltaiku v ČR zlomový, kdy byla výkupní cena za 1kW snížena z 12,25 Kč na 7,5 Kč tj. 38,8%. Doba návratnosti se pak posunula na 11 až 14 let a investice do FVE už není zcela tak lukrativní a výhodná. Výkupní tarify jsou nejvíce efektivní způsob, jak podpořit rychlý rozvoj trhu s FV, a proto lze předpokládat, že trh bude v následujících letech klesat či stagnovat. Ovšem odhadovat energetickou politiku a výkupní tarify je velmi složité, už třeba z toho důvodu, že Německo se rozhodlo najednou panicky odstavit jaderné elektrárny. Fotovoltaické elektrárny tak mohou zažít další rozkvět.

Samotné výkupní ceny, o nichž se v současnosti nejvíce diskutuje, jsou jen jedním z faktorů, které ovlivňují rozvoj instalací. Další jsou například úroveň úrokových sazeb, dostupná připojovací kapacita a celá řada dalších. Jedním z významných faktorů, který v současnosti brzdí rozvoj zejména malých fotovoltaických elektráren na střechách rodinných domů, jsou nejasnosti v právně-administrativních otázkách při jejich povolování a provozování.

Mezi hlavní překážky v realizaci malých fotovoltaických elektráren patří zejména celková neúměrná administrativní zátěž pro investora, která je jen o málo menší než u megawattových elektráren. Nejčastěji je kritizována nejednotnost výkladu stavebního zákona v bodech, které se týkají fotovoltaiky, dlouhé lhůty, které si stanovují provozovatelé distribučních sítí na vydání stanovisek a na všechny další kroky - úpravy sítě, instalace elektroměru, zapojení FVE.

Umístění projektu hraje důležitou roli, především způsob technické proveditelnosti a ekonomické přitažlivosti pro investory. Analýza nákladů může spadnout do pastí soustředěním se na konkrétní oblasti zájmu a chybí celkový obraz systému. Například tím, že se zaměří výhradně na snížení pořizovací ceny FV modulu nebo nákladů na instalaci měniče. Výsledky analýzy se mohou měnit vlivem nižších nákladů na výkon. Například nižší cena FV modulů sice sníží náklady, ale jejich životnost a účinnost je menší než u dražších FV



modulů, nebo u nižších nákladů na měnič může vyžadovat častější opravy a výměny, což nakonec povede k tomu, že elektřina vyrobená ze systému využívající tyto komponenty bude dražší i přes nižší investiční náklady. Náklady na FV moduly závisí na materiálu a technologii. Návratnost vložených prostředků je jistě jedním z nejdůležitějších kritérií při rozhodování o budoucí investici. Díky podpoře státu se stává fotovoltaika velice zajímavou z hlediska návratnosti vložených prostředků. Veškerá data potřebná pro výpočet ročních výnosů jsou jasná a měřitelná. Díky garanci výkupní ceny státem po dobu životnosti lze poměrně přesně určit, v jakém časovém horizontu se investice vrátí.

## 7 Souhrnné vyhodnocení

Zásoba nerostných zdrojů je konečná a dle prognóz bude za patnáct až dvacet let konvertibilní měnou kilowatta stejně tak jako dolar nebo euro. Výzkum v oboru FV panelů je zaměřen na zvýšení účinnosti přeměny slunečního záření, tj. výkonu ve FV článků. Pozornost výzkumu je dále zaměřena na vývoj nových materiálů používaných ve výrobě FV článků a na výzkum způsobu výroby článků založených na levných technologiích a materiálech. Předmětem výzkumu jsou také FV články vyráběné z organických polovodičů.

Předpoklady futurologů jsou takové, že během několika desetiletí FV panely budou vyrábět až 5 % světové spotřeby energie. Použití fotovoltaických systémů je výhodné tím, že je sluneční energii zdarma. Panelům při jejich venkovním nainstalování nevadí déšť, sníh, kroupy, ani hluboký mráz. Bez problémů odolávají vysokým teplotám a nárazům větru až do rychlosti 180 km/hod. Následný provoz je téměř zdarma. Dosud nedocenitelnou výhodou je bezodpadový provoz. Výroba elektřiny z FVE neprodukuje téměř žádné odpady.

Poměrně vysoké investiční náklady, počáteční nedůvěra a neznalost možností tohoto způsobu výroby elektrické energie, jsou základními překážkami dnešního rozvoje.

Vzhledem ke stoupající křivce vývoje lidské populace je žádoucí, co nejdříve přejít k politice úspor neobnovitelných přírodních zdrojů a podporovat využívání obnovitelných zdrojů energie. Proto také u nás musíme postupně a cílevědomě odstraňovat bariéry omezující postup do rozvoje energetiky zítřka, založené na požadavku udržitelnosti přijatelného životního prostředí a života na Zemi pro další generace.

Výsledkem předkládané práce je analýza technologie a ekonomických parametrů ovlivňujících efektivnost FVE. Zpracovaný softwarový nástroj na základě zadaných technologických a ekonomických parametrů vypočítá ukazatele ekonomické efektivnosti

zadané FVE a měl by napomoci potenciálním investorům v rozhodování, zda podobnou investici realizovat či nikoliv. Softwarový nástroj lze využít k vyhodnocení efektivnosti libovolného druhu FVS.

## Seznam literatury, zdrojů

- [1] PAZDERA, J. *Budou solární články o vysoké účinnosti?* [online] Osel.cz - internetový časopis pro popularizaci vědy  
URL: <http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=2167>
- [2] GREGOROVÁ, D. *Nový typ povrchu pro budoucí solární panely* [online] Osel.cz - internetový časopis pro popularizaci vědy  
URL: <http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=4887>
- [3] WACHTER, B. *Koncentrovaná solární energie a její uskladnění* [online] Ekoblog.cz - nápady v oblasti nových technologií šetrných k životnímu prostředí  
URL: <http://www.ekoblog.cz/?q=node/182>
- [4] JHA, A. R. *Solar Cell Technology and Applications*: CRC Press, 2010, Kapitola 4, s. 105 -120. ISBN: 978-1-4200-8177-0
- [5] ERÚ. *Energetický regulační úřad*. URL: <http://www.eru.cz/>
- [6] INFORMAČNÍ INSTITUT. *Zpráva o legislativě obnovitelných zdrojů* [online] Informační institut - nevládní a neziskové vědomostní centrum se zaměřením na výzkum v politických otázkách. URL: <http://www.informacniinstitut.cz>
- [7] CZECH RE AGENCY. *Jsou současné ceny FV panelů racionální?* [online] Czech RE Agency - podpora a rozvoj obnovitelných zdrojů energie  
URL: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/ceny-fv-panelu>
- [8] TZB-INFO. *Výše výkupních cen a zelených bonusů pro rok 2010*. [online] TZB-info - publikování odborných informací pro komerční prezentace firem  
URL: <http://www.tzb-info.cz/6986-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu-pro-rok-2010>
- [9] PRAKTICKÝ ČASOPIS PRO VÝUKU FYZIKY. *Budoucnost jaderné energetiky* [online] Časopis pro výuku fyziky a práci s talentovanými žáky na základních a středních školách. Ročník 2006. ISSN: 1211-151.  
URL: <http://sf.zcu.cz/rocnik06/cislozv/budouc2.html>
- [10] PVGIS. Photovoltaic Geographical Information System – informace o dopadu slunečního záření. URL: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

## **Seznam příloh**

Obsah přiloženého CD:

Bakalářský projekt v elektronické formě (.pdf)

Program Solárník (.exe)